

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Merenkulun koulutusohjelma / merikapteenin sv.

Joni Böös

ALUSTEN AIHEUTTAMAT KUORMITUKSET LAITURIRAKENTEISIIN  
Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Merenkulun koulutusohjelma

BÖÖS, JONI	Alusten aiheuttamat kuormitukset laiturirakenteisiin
Opinnäytetyö	40 sivua
Työn ohjaajat	Timo Alava, merikapteeni Jorma Rytönen, tutkimusjohtaja Tommy Ulmanen, projektipäällikkö
Toimeksiantaja	KymiTechnology, KyAMK
Toukokuu 2010	
Avainsanat	laivaliikenne, kuormitus, laiturit, rakenteet, satamat, vesirakennus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia erilaisia aluksista johtuvia laiturirakenteisiin vaikuttavia kuormia Suomen satamissa. Työn teoriaosuuteen on kerätty yleistä tietoa, kaavoja ja mitoitusarvoja alan raporteista ja satamasuunnittelu-käsikirjoista. Rakenteiden teknisiä ominaisuuksia ei tarkastella kovinkaan syvällisesti, vaan näkökulma on pyritty pitämään helpommin lähestyttävänä.

Työn toissijaisena tavoitteena oli tarkastella aluskokojen ja merikuljetusten kehitystä sekä arvioida niiden kasvusta seuraavia vaikutuksia modernien alusten aiheuttamiin kuormituksiin. Tätä selvitettiin tutkimalla kauppalaivastojen ja merikuljetusten tilastoja kolmenkymmenen viimeksi kuluneen vuoden ajalta. Tarkastelukohteeksi työhön valittiin Kotkan Kantasatamassa sijaitseva Itälaituri. Työ sisältää suppean analyysin laiturin historiasta, rakenteesta, käyttöas-teesta sekä soveltuvuudesta tämän päivän alusliikenteeseen.

Johtopäätökset eivät sisällä suoranaisia teknisiä suosituksia. Aluksia ja sata-mia tulee tarkastella yksittäistapauksina, ja yleistävien päätelmien tekeminen ei ole mahdollista ilman tarkempia tietoja tapauksista. Siksi laajemmat analyysit laitureiden soveltuvuudesta johonkin tiettyyn liikenteeseen jäävät viran-omaisten ja satamien arvioiden varaan.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Maritime Technology

BÖÖS, JONI

Bachelor's Thesis

Supervisors

Commissioned by

May 2010

Keywords

The Loads Inflicted by Ships on Port Structures

40 pages

Timo Alava, Master Mariner

Jorma Rytönen, Research Director

Tommy Ulmanen, Project Manager

KymiTechnology, KyUAS

load, piers, ports, structures, vessel traffic,  
water engineering

The aim of this Bachelor's Thesis was to study the effects of various loads inflicted by ships on port and pier structures in Finnish harbors. The theoretical part of the thesis is a summary of general information, formulas and design parameters from several reports and port design handbooks. More profound technical analysis was intentionally avoided in order to provide an easier approach to the subject.

A secondary objective was to study the growth of the vessel size and maritime transportation and estimate its effect on the loads inflicted by a modern vessel. This was accomplished by analyzing the statistics of shipping and fleets during the last thirty years. The observation was focused on the Port of Kotka, more specifically on its East Pier. This thesis includes a brief survey of the pier's history, structure, utilization rate and suitability for modern traffic.

The conclusions of the study were presented in relatively general terms because all vessels and ports should be examined as individual cases. Therefore, the judgment about a port's suitability for certain purposes has been left to the responsible authorities and port officials.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	LIIKENNE- JA ALUSKÄYNTIMÄÄRIEN KEHITYS	7
	2.1 Aluskäynnit ja tavaraliikennemäärät 1980 - 2008	7
	2.2 Matkustaja- ja transitoliikenne Suomessa	9
	2.3 Merikuljetukset maailmanlaajuisesti	11
	2.4 Tavaraliikenne Kotkassa	11
3	ALUSTEN KOON KEHITYS	12
4	LAITUREIDEN RAKENNETYYYPIT	15
	4.1 Massiivilaiturit	16
	4.2 Paalu- ja pilarilaiturit	18
	4.3 Ponttiseinälaiturit	19
	4.4 Törmäyssuojat	20
5	ALUKSESTA LAITURIRAKENTEISIIN KOHDISTUVAT VOIMAT	20
	5.1 Kosketusvoimat	21
	5.2 Tuuli-, virtaus-, aalto-, ja jääkuormat	24
	5.2.1 Nojausvoimat	24
	5.2.2 Hankaus ja sysäykset	25
	5.2.3 Köysivoimat	27
	5.2.4 Jääkuormat	29
	5.3 Eroosio	30
	5.4 Pistokuormat	30
	5.5 Rikkominen	31
6	TARKASTELUSSA KOTKAN SATAMAN ITÄLAITURI	33
	6.1 Historia	33
	6.2 Itälaiturin rakenteet	35
	6.3 Laiturin käyttöaste ja käyttömahdollisuuksien arviointi	35

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	37
LÄHTEET	39

## 1 JOHDANTO

Työn aiheena oli selvittää aluksista laiturirakenteisiin vaikuttavia kuormia ja aluskoossa tapahtuneiden muutosten vaikutusta näihin kuormiin. Olemassa oleva kirjallisuus lähestyy aihetta yleensä satamarakentamisen ja -suunnittelun näkökulmasta. Tieto on usein hyvin teknistä ja hajanaista. Työssä on pyritty keräämään yhteen mahdollisimman yleispäteviä tietoja ja kaavoja. Näiden perusteella lukijan tulisi pystyä muodostamaan melko kattava kuva eri kuormiin vaikuttavista tekijöistä.

Opinnäytetyön lukijalta voidaan edellyttää aluksen kiinnitys-, irrotus-, lastaus- ja purkaustoimintojen sekä laiturirakenteiden perustuntemusta. Työssä käsitellään alusten aiheuttamien kuormien ja voimien arviointia sekä laitureiden rakenneteknisiä ominaisuuksia vain pintapuolisesti ja yleisellä tasolla. Työssä keskitytään ainoastaan laivoista laiturirakenteisiin kohdistuviin kuormiin. Aaltojen, jään, korroosion ja muiden vastaavien rasituksien suoraa vaikutusta ei arvioida, ellei kuorma vaikuta ensin alukseen ja sitä kautta laituriin.

Alusten, laitureiden ja yleisesti meriliikenteen kehityksen seurantajaksoksi määriteltiin noin kolmekymmentä vuotta eli suurin piirtein vuodet 1980-2010. Tämä oli looginen valinta, koska aihetta on Suomessa viimeksi tutkittu aktiivisesti juuri seurantajakson alussa. Useat seurantajakson alussa käytössä olleet, iäkkäätkin laiturit ovat aktiivikäytössä edelleen. Kaikkien näiden ei voida olettaa täyttävän enää nykypäivän suurimpien alusten vaatimuksia.

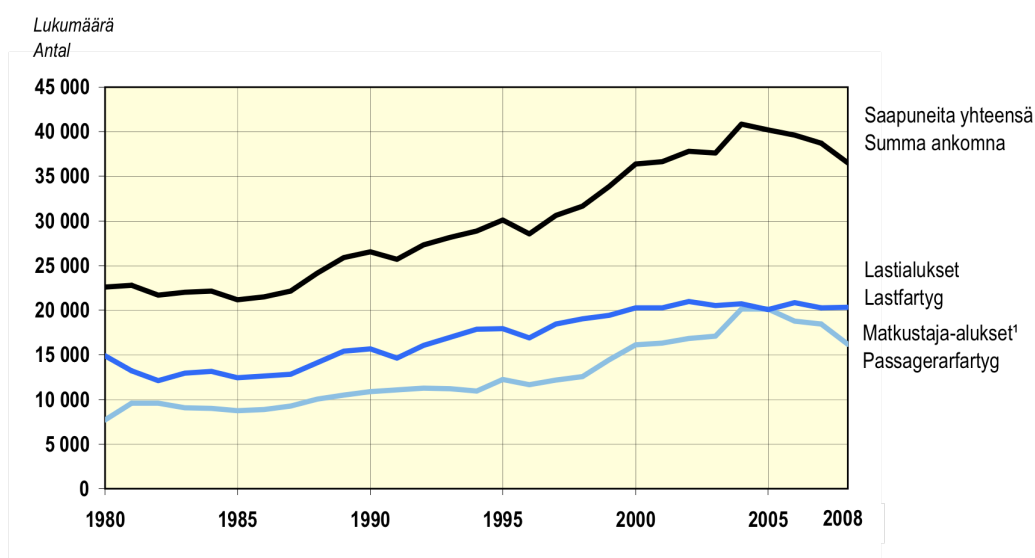
Työssä on pyritty välttämään yleistäviä subjektiivisia arvioita laitureiden ja rakenteiden soveltuvuudesta tai soveltumattomuudesta tämän päivän alusten toimintoihin. Jokaista laivaa ja laituria voidaan pitää yksittäistapauksena, joten varsinaiset yleiset arviot jätetään satamille, aluksille ja viranomaisille. Työssä tarkastellaan kuitenkin esimerkkitapauksena Kotkan satamaa, tarkemmin Kantasataman Itälaituria, sen rakennetta ja soveltuvuutta nykyisille aluksille.

## 2 LIIKENNE- JA ALUSKÄYNTIMÄÄRIEN KEHITYS

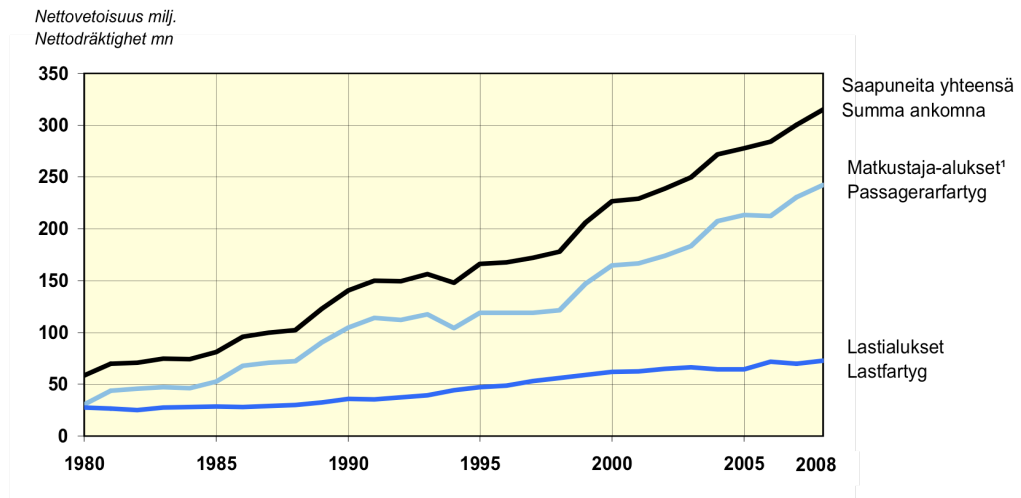
Liikenne- ja aluskäyntimäärien kehitystä tutkittiin pääasiassa Merenkulkulaitoksen tilastoista. Vuoden 2009 tilastoihin vaikutti jo alkanut talouden taantuma merkittävästi, joten käytännössä vertailujaksona toimivat vuodet 1980-2008. Toistaiseksi ei ole kovinkaan luotettavaa tietoa siitä, miten aluskäynti- ja liikennemäärät Suomen satamissa lähivuosina kehittyvät.

### 2.1 Aluskäynnit ja tavaraliikennemäärät 1980 - 2008

Suomen satamien aluskäynti- ja liikennemäärät sekä alusten nettovetoisuus ovat kasvaneet merkittävästi viimeisten n. 30 vuoden aikana. Vuonna 1980 Suomen satamiin tehtiin yhteensä 22 594 ulkomaanliikenteen aluskäyntiä, ja alusten yhteenlaskettu nettovetoisuus oli n. 58 milj., kun vuonna 2008 vastaavat luvut olivat 36 515 aluskäyntiä nettovetoisuudeltaan n. 315 milj. Vuosina 2004 ja 2005 ulkomaanliikenteen aluskäynnit ylittivät jo 40 000:n rajapyykin. Aluskäyntimäärien (kuva 1) ja yhteenlasketun nettovetoisuuden (kuva 2) kehitystä kuvastavat seuraavat diagrammit. (Merenkulkulaitos 5/2009, 38.)



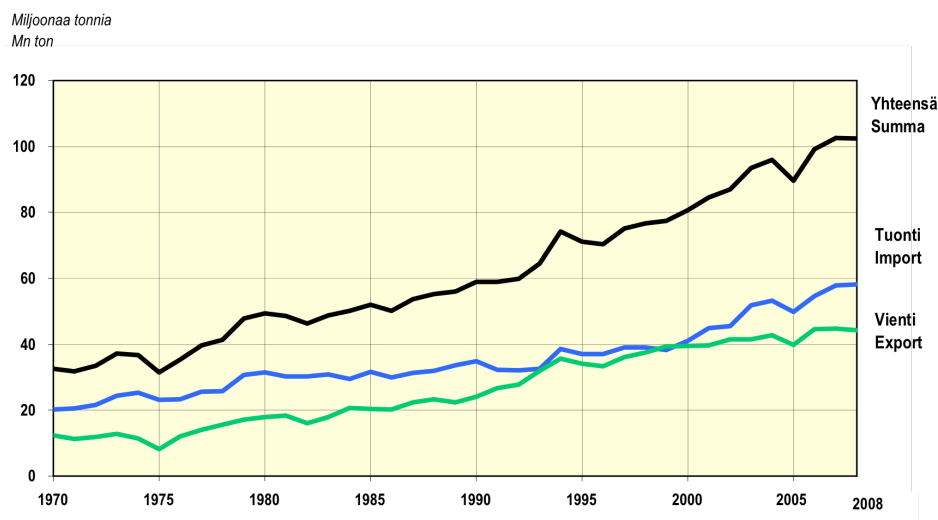
Kuva 1. Ulkomaanliikenteessä Suomen satamiin saapuneet alukset (Merenkulkulaitos 5/2009, 39).



Kuva 2. Ulkomaanliikenteessä Suomen satamiin saapuneiden alusten yhteenlaskettu nettovetoisuus (Merenkulkulaitos 5/2009, 39).

Kotimaanliikenteen aluskäyntejä vuonna 2008 kertyi 3 385, yhteenlaskettu nettovetoisuus oli n. 5,9 milj. Kotimaanliikenteen luvut eivät sisällä matkustajaluksia eivätkä ro-ro-matkustaja-aluksilla tapahtuvaa kotimaanliikennettä Manner-Suomen ja Ahvenanmaan välillä. (Merenkulkulaitos 5/2009, 114.)

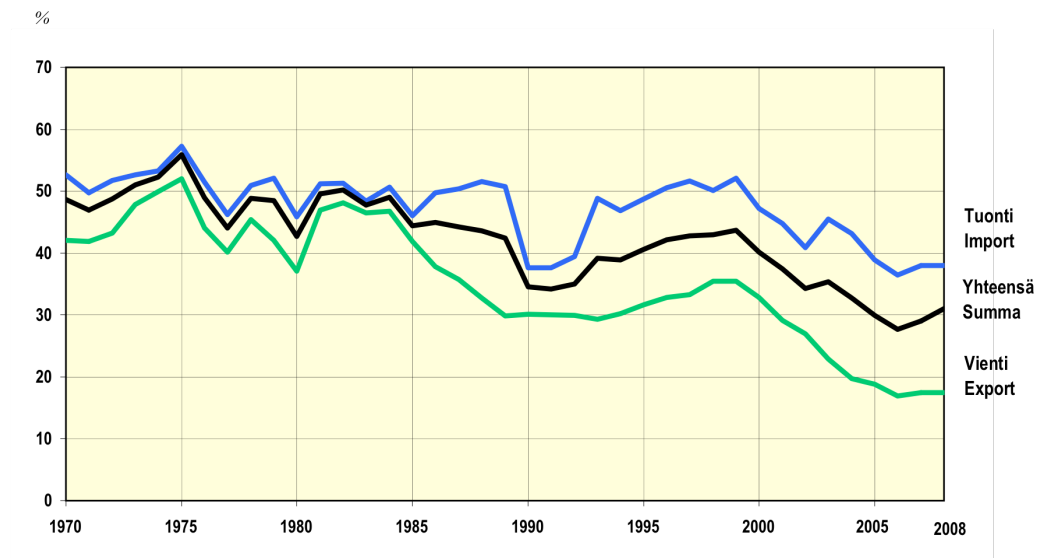
Ulkomaan kokonaistavaraliikenne kaksinkertaistui vuosien 1980 ja 2008 välillä (kuva 3). Vuonna 1980 Suomen satamien tuonti oli 31 470 022 tonnia ja vienti 17 900 110 tonnia, eli yhteensä 49 370 132 tonnia. Vuonna 2008 tuonti oli 58 112 545 tonnia ja vienti 44 292 682, yhteensä 102 405 227 tonnia. (Merenkulkulaitos 5/2009, 11.)



Kuva 3. Ulkomaan merikuljetukset (Merenkulkulaitos 5/2009, 10).



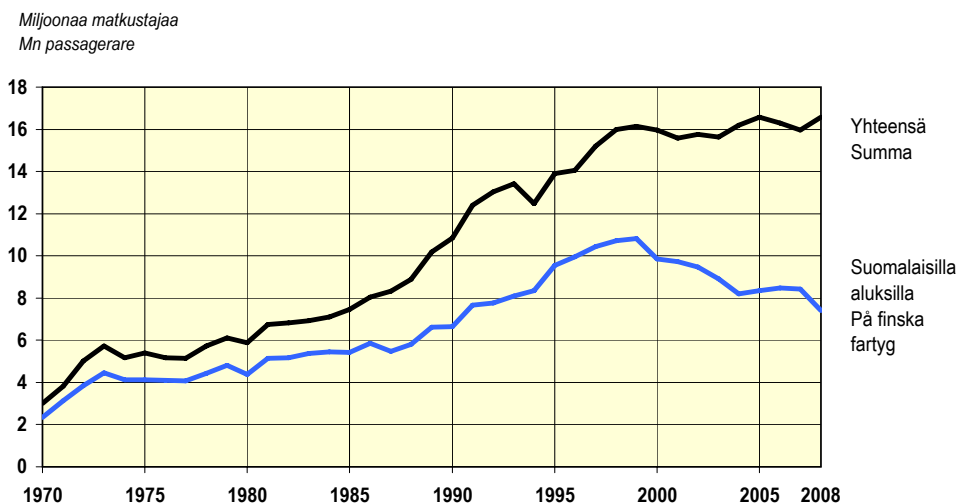
Huomionarvoista on myös suomalaisten alusten osuus kokonaistavaramäärän kuljetuksista. Vielä 1980-luvulla se oli n. 42 - 50 %, mutta vuoden 2005 jälkeen oli vakiintunut n. 30 prosentin tasolle (kuva 4). (Merenkululaitos 5/2009, 11.)



Kuva 4. Suomalaisten alusten osuus ulkomaan merikuljetuksista (Merenkululaitos 5/2009, 10).

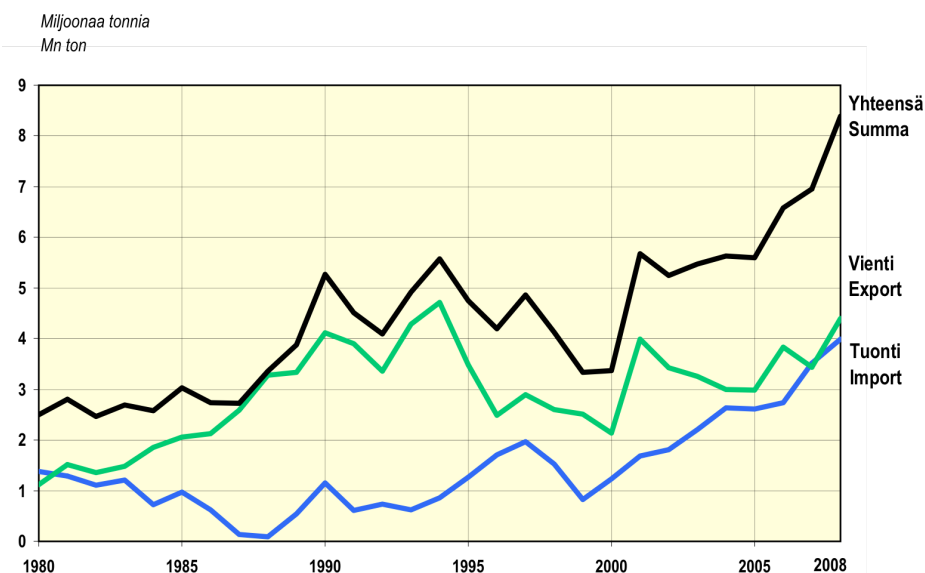
## 2.2 Matkustaja- ja transitoliikenne Suomessa

Matkustajamäärät kasvoivat voimakkaasti (kuva 5) tarkastelujakson aikana. Vuonna 1980 Suomen satamiin saapui 2 940 468 ja satamista lähti 2 939 663 matkustajaa, yhteensä 5 880 131, joista 74,5 % suomalaisilla aluksilla. Vuonna 2008 saapuneita matkustajia oli 8 322 622, lähteneitä 8 264 023, yhteensä 16 586 685, joista suomalaisten alusten osuus 44,7 %. (Merenkululaitos 5/2009, 32.)



Kuva 5. Matkustajaliikenne ja suomalaisten alusten osuus (Merenkulkulaitos 5/2009, 31).

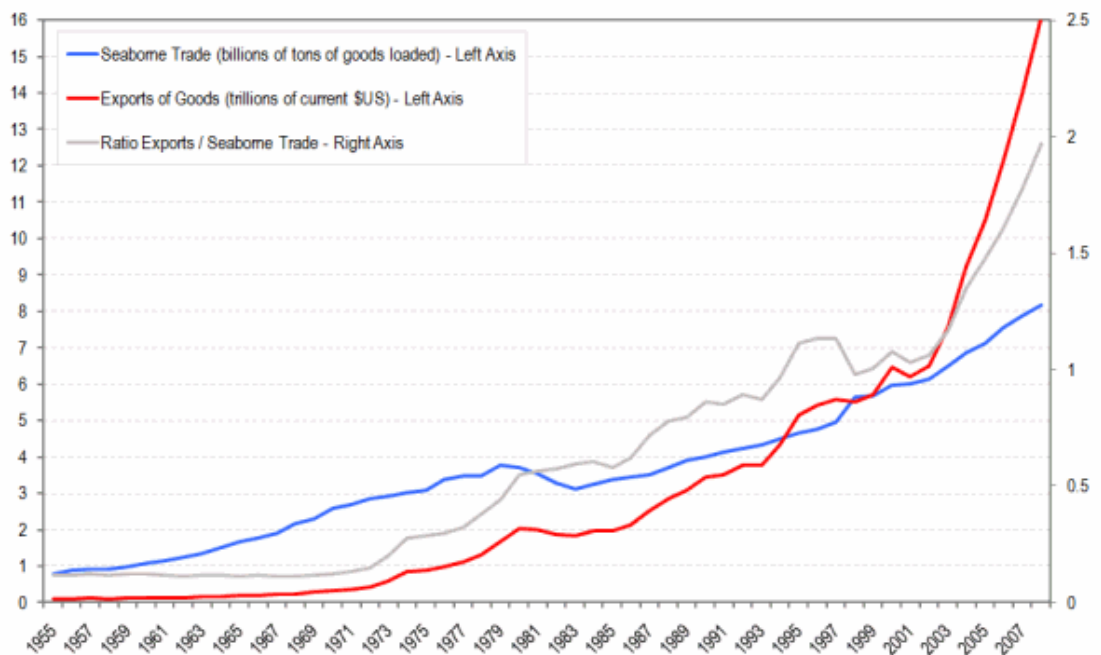
Transito- eli kauttakulkuliikenne on yli kolminkertaistunut vuodesta 1980 (kuva 6). Voimakkaimmat kasvujaksot ovat olleet 80-luvun loppupuolella ja vuoden 2000 jälkeen. Vuonna 1980 transitotuonti oli 1 375 293 tonnia, -vienti 1 124 093 tonnia eli yhteensä 2 499 386 tonnia. Vuonna 2008 tuonti oli noussut 3 995 918 tonniin, vienti 4 394 572 tonniin; kokonaistransito oli 8 390 490 tonnia. (Merenkulkulaitos 5/2009, 23.)



Kuva 6. Transitoliikenteen kehitys (Merenkulkulaitos 5/2009, 23).

## 2.3 Merikuljetukset maailmanlaajuisesti

Maaailmanlaajuisesti merikuljetusten kasvu on kulkenut pitkälti maailmankaupan yleisen kehityksen mukaisesti. Vuonna 1955 merikuljetusten kokonaismäärä oli n. 800 miljoonaa tonnia, kun vuonna 2007 määrä ylitti jo kahdeksan miljardin tonnin rajan. 1980-luvun alkupuolella vastaava luku oli vielä 3 - 4 miljardin tonnin tuntumassa. Merikuljetusten määrän ja rahallisen arvon kehitys selviää oheisesta diagrammista (kuva 7). (The Geography of Transport Systems)

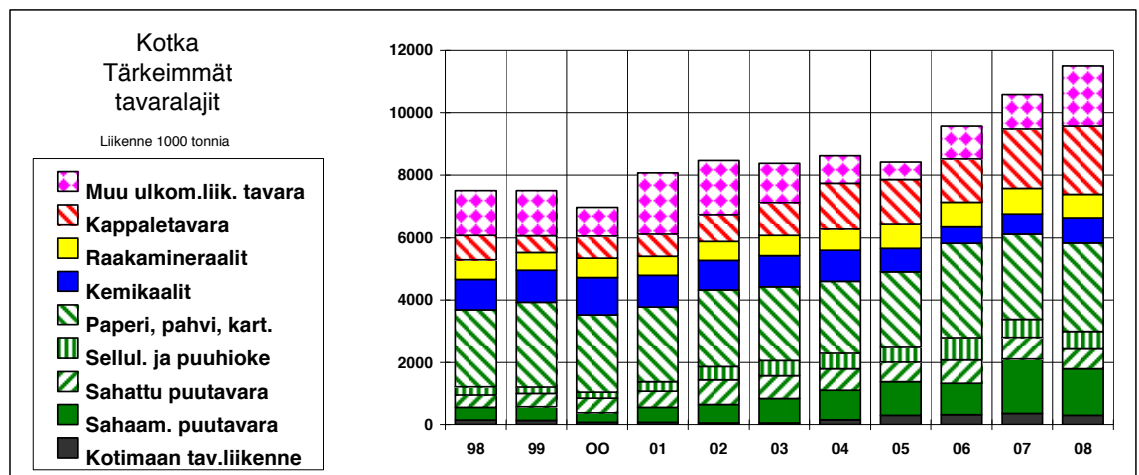


Kuva 7. Merikuljetusten määrän ja arvon kehitys (The Geography of Transport Systems).

## 2.4 Tavaraliikenne Kotkassa

Työn tarkastelukohteesta eli Kotkan satamasta ei ollut käytettävissä vertailukelpoista tietoa koko 30 vuoden ajanjaksolta. Vuonna 2008 sataman kokonaistuonti oli 5 011 000 tonnia, vienti 6 181 000 tonnia eli yhteensä 11 192 000 tonnia. Vielä vuonna 1998 yhteenlaskettu kokonaisliikenne oli huomattavasti vähäisempää, 7 360 000 tonnia. (Merenkululaitos 6/2009, 13.)

Kotkan sataman tärkeimmät tavaralajit ja niiden osuudet vuosina 1998 - 2008 selviävät kuvasta 8. Ajanjakson aikana kokonaisliikennemäärät ovat kasvaneet 53 prosenttia. Liikennemäärien nousu perustuu suurilta osin transiton ja konttiliikenteen vahvaan kasvuun. Transitoliikenne on kasvanut Kotkassa voimakkaasti, noin 1,9 miljoonasta tonnista 3,36 miljoonaan tonniin. Konttiliikenne on myös kasvanut moninkertaisesti; vuonna 1999 liikenne oli vielä alle 150 000 TEU:ta, kun vuonna 2008 määrä ylitti jo 600 000 TEU:n rajan. (Merenkulkulaitos 6/2009, 13.)



Kuva 8. Kotkan sataman tärkeimmät tavaralajit (Merenkulkulaitos 6/2009, 13).

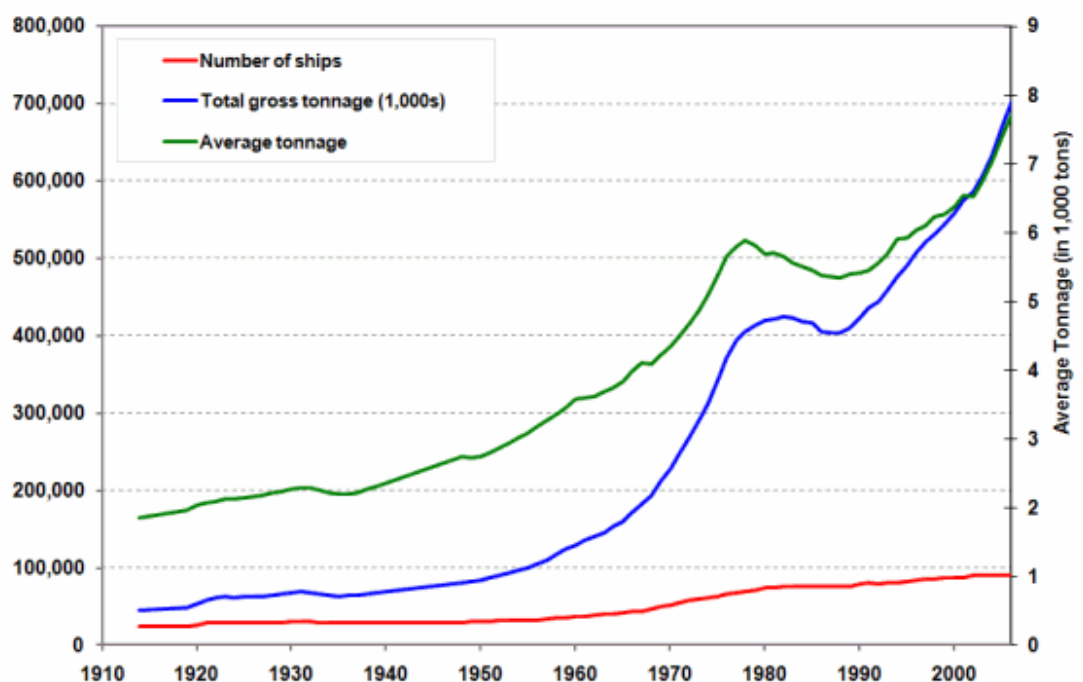
### 3 ALUSTEN KOON KEHITYS

Laivojen koon kasvusta ei ole mahdollista vetää yhtä ainoata yleispätevää linjaa. Tilastot kauppalaivastojen tonnistoja kehityksestä ovat yleensä kansallisia, jolloin niihin vaikuttavat merkittävästi niin suhdanteet kuin kunkin valtion kaupan painopisteetkin. Erilaiset alustyyppit kehittyvät eri tavoin riippuen painotettavista ominaisuuksista. Kaikkein suurimpien alusten laitureita kuormittava rakenteellinen vaikutus on harvojen aluskäyntien vuoksi Suomen satamien kannalta melko pieni, vaikka niiden näkyvyys tonnistotilastoissa olisikin huomattava.

Tutkimuksen kannalta edellisessä luvussa esitellyjen aluskäyntien ja tavaramäärien sijaan olennaisempaa oli esimerkiksi aluksen keskimääräisen nettovetoisuuden kasvu, joka kuvaa yleistä aluskoon kehitystä Suomen satamissa vierailevien kauppalaivastojen osalta. Ulkomaanliikenteen osalta se voitiin laskea

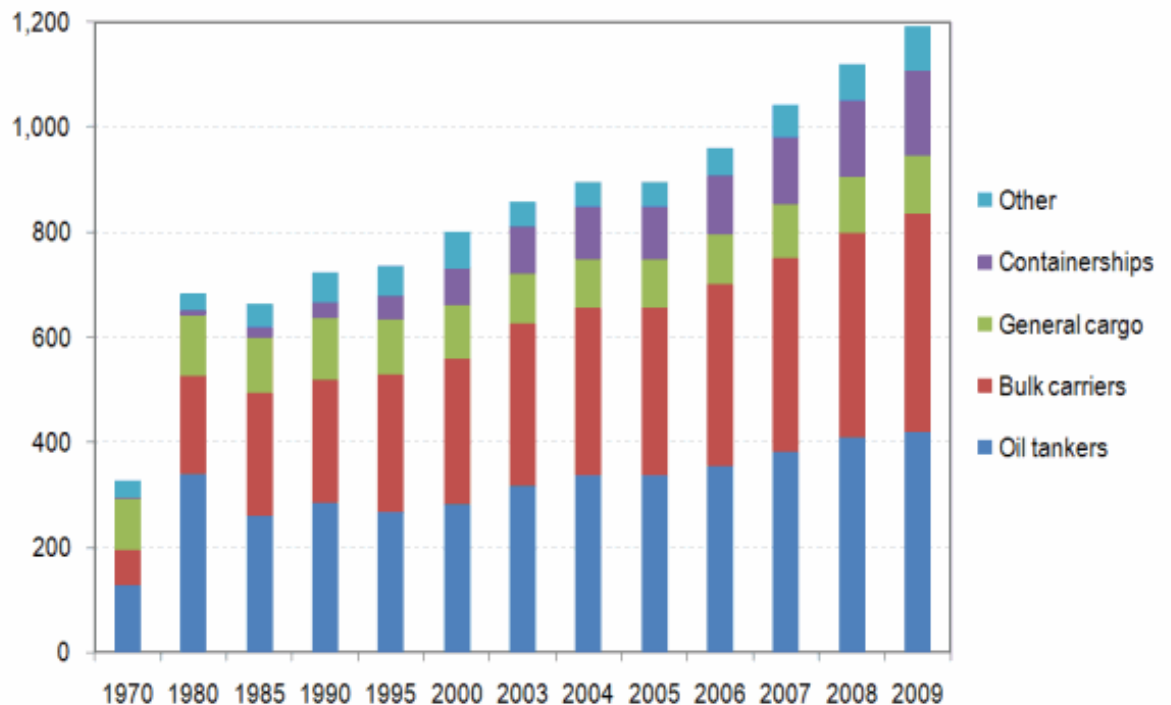
suoraan ulkomailta tehtyjen aluskäyntien mukaan eli huomioiden kultakin Suomenmatkalta vain aluksen ensimmäinen satamakäynti. Vuonna 1980 ulkomaanliikenteen alusten keskimääräinen nettovetoisuus oli n. 2585, kun vuonna 2008 vastaava luku oli 7938. Karkeasti arvioiden voidaan siis todeta, että vuonna 2008 Suomen satamissa vierailleet ulkomaanliikenteen alukset olivat keskimäärin nettovetoisuudeltaan noin kolme kertaa suurempia kuin vuonna 1980. (Merenkulkulaitos 5/2009, 38.)

Maailmanlaajuisestikin alusten koot ovat kasvaneet, mutta kun lasketaan koko maailman kauppalaivarekisterin keskimääräisiä bruttotonneja, on kasvu maltillisempaa kuin vain Suomessa vierailevien alusten osalta. Oheinen diagrammi (kuva 9) kuvaa alusmäärien ja yhteenlasketun tonniston muutoksia. Viimeisten n. 20 vuoden aikana trendinä on ollut, että kauppalaivaston alusmäärä kasvaa noin puolet hitaammin kuin alusten yhteenlasketut bruttotonnit. Tämä selittyy keskimääräisen aluskoon kasvulla ja merenkulkualan tehokkuuden kehittymisenä. (The Geography of Transport Systems.)



Kuva 9. Alusmäärien ja tonniston kehitys (The Geography of Transport Systems).







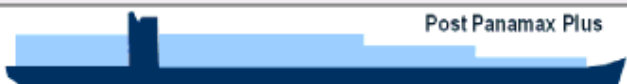

Erittäin suuria aluksia on ollut olemassa jo vuosikymmeniä, kuten supertankkereita ja suuria bulk-aluksia. Maailman tonniston jakautuminen eri alustyyppeihin selviää kuvasta 10. Tärkeitä tekijöitä nimenomaan keskimääräisen aluskoon kasvussa ovat olleet suurilujuusterästen ja rakennusmenetelmien kehittyminen ja laivojen tilankäytön tehokkaampi optimointi. Eli käytännössä ulkomitoiltaan yhtä suuret alukset ovat nykyään lastikapasiteetiltaan suurempia kuin aiemmin. Tämä taas vaikuttaa suoraan alusten massoihin ja aluksista aiheutuviin kuormiin. Itämerelle liikennöivien alusten kokoa tosin rajoittaa Tanskan salmissa sijaitsevan Ison-Beltin väylän 15 metrin maksimisyväys. (The Geography of Transport Systems.)



Kuva 10. Tonniston jakautuminen eri alustyyppeihin (The Geography of Transport Systems).

Erityyppiset alukset ovat kehittyneet hyvinkin eri tavoin. Esimerkiksi konttialusten kasvua rajoitti pitkään ulkomittojen rajaaminen ”Panamax-luokan” mukaan. Sen jälkeen, kun luokan rajoitteista ryhdyttiin suurimpien alusten osalta luopumaan 1980-luvun lopussa, on alusten suurin konttikapasiteetti jopa kolminkertaistunut. (The Geography of Transport Systems.)

Konttialusten sukupolvien kehitys ja merkittävimmät mitat selviävät kuvasta 11.

		Length	Draft	TEU
First (1956-1970)	 Converted Cargo Vessel	135 m	< 9 m < 30 ft	500
	 Converted Tanker	200 m		800
Second (1970-1980)	 Cellular Containership	215 m	10 m 33 ft	1,000 – 2,500
Third (1980-1988)	 Panamax Class	250 m	11-12 m 36-40 ft	3,000
	 Panamax Class	290 m		4,000
Fourth (1988-2000)	 Post Panamax	275 – 305 m	11-13 m 36-43 ft	4,000 – 5,000
Fifth (2000-2005)	 Post Panamax Plus	335 m	13-14 m 43-46 ft	5,000 – 8,000
Sixth (2006-)	 New Panamax	397 m	15.5 m 50 ft	11,000 – 14,500

Kuva 11. Konttialusten sukupolvet (The Geography of Transport Systems).

#### 4 LAITUREIDEN RAKENNETYYYPIT

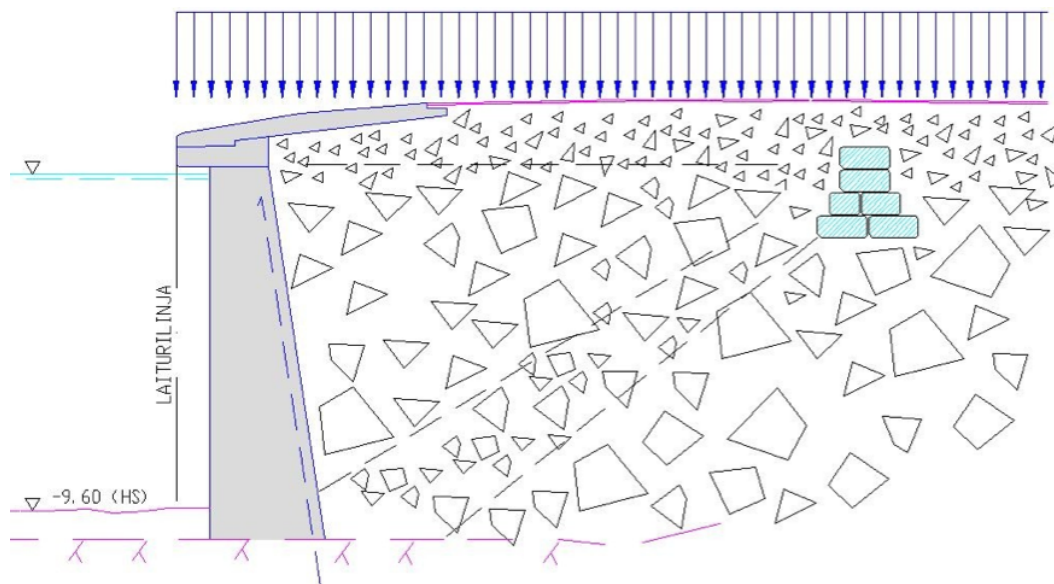
Laiturit jaotellaan yleensä käyttötarkoituksen ja rakennetyypin mukaan. Jaottele ei ole aivan yksiselitteistä, sillä satamat ja laiturit palvelevat monesti useampaa käyttötarkoitusta ja on olemassa erilaisten rakennetyyppien yhdistelmiä. Satamat jaotellaan käyttötarkoituksensa mukaan tavara-, matkustaja-, kalastus- ja huvivenesatamiin. Lisäksi satamiksi luokitellaan myös kaupunkirakenteen rantamuurit, joilla voi olla useita käyttötarkoituksia. (RIL 236, 13-14.)

Kauppa-alusten käyttöön tarkoitetut laiturit voidaan jakaa liikenteen mukaan seuraaviin ryhmiin: matkustaja-, kappaletavara-, öljy-, kaasu-, hiili-, malmi-, vilja-, kontti-, lautta-, odotus- ja huolto, sekä telakkalaitureihin (RIL 123, 251).

Laiturityypit jaotellaan sijainnin mukaan ranta-, pisto-, tihtaali- ja off-shore-laitureihin sekä aallonmurtajiin. Tässä työssä keskitytään pääasiassa perinteisiin ranta- ja pistolaitureihin. Rantalaiturit rakennetaan taustalla olevan rannan suuntaisesti ja yleensä olemassa olevan rantapenkereen mukaan. Laituri voi tukeutua rantapenkereeseen, jolloin siihen voidaan johtaa aluksesta aiheutuvia voimia, tai se voidaan rakentaa irti varsinaisesta penkereestä, jolloin kulkyhteys maihin tapahtuu yhdyssiltojen kautta. Pistolaiturit rakennetaan yleensä kohtisuoraan ulospäin rannasta, jolloin niitä voidaan käyttää kaksipuolisina. On varsin yleistä, että pistolaituria jatketaan esimerkiksi tihtaalilaiturina. (RIL 236, 14.)

#### 4.1 Massiivilaiturit

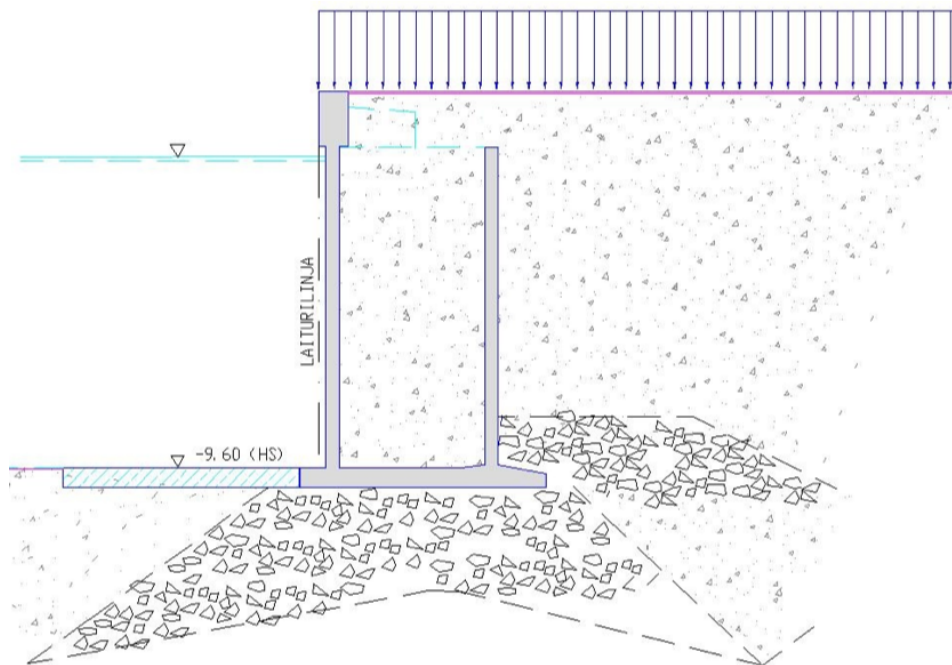
Massiivilaiturit perustetaan luonnollisen maakerroksen tai kallioulouheella täytetyn pohjan varaan. Erityyppisiä massiivilaitureita on useita. Kasuuni-, kulmatukimuuri-, arkku- ja blokkimuurilaiturit ovat samantyyppisiä laitureita, jotka kestävät hyvin pysty- ja pistekuormia. Näiden tukimuurilaitureiden (kuva 12) pistekuormia voi paikallisesti suurentaa rakenteen täytemaan murtorajoille asti. Edellä mainittujen lisäksi massiivilaitureiksi luokitellaan myös vahvistetut kalloseinälaiturit, valetut betonilaiturit sekä massiivikivimuurit. (RIL 236, 15.)



Kuva 12. Tukimuurilaiturin rakenne (Kotkan satama 2008, 3).



Kasuunien (kuva 13) ja vastaavien elementtien pystysaumauksiin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Rakenteiden alapuoliset maakerrokset ja täyteaineet saattavat painua epätasaisesti, jolloin vaarana on saumojen aukeaminen. Hienommat maa-ainekset saattavat valua ulos aaltoilevan veden myötä, jolloin laiturin pintaan muodostuu kuoppia. Saumojen tukkimiseen käytetään betoni-rakenteissa terästä, betonivalua ja esimerkiksi karkeaa sepeliä ja suodatin-kangasta. Hirsiarkuissa voidaan lomittaisilla pystyhirsillä toteuttaa erityiset lukot, jotka täytetään betonilla. Tukimuurilaitureissa kasuunin tai elementin etukulman alla maanpaine on suurimmillaan. Erityisesti näissä kohdissa tulee maa tiivistää ja suojata eroosiolta huolellisesti. (RIL 123, 252.)



Kuva 13. Kasuunirakenne (Kotkan satama 2008, 13).

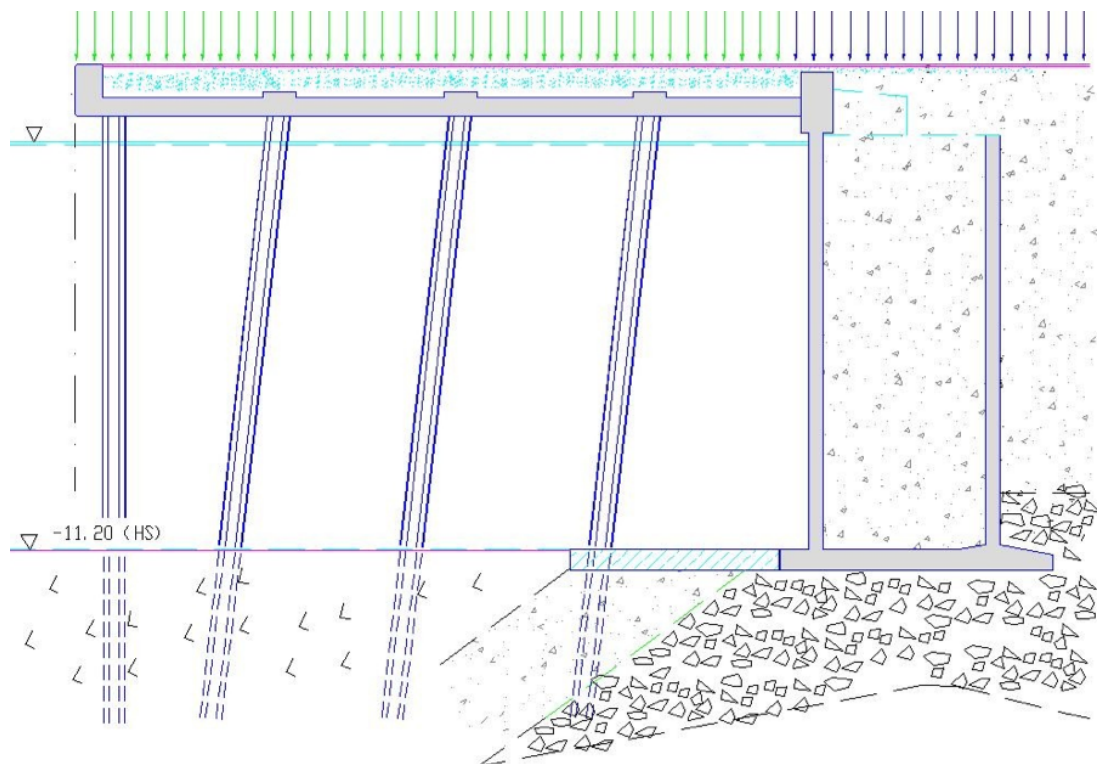
Blokkilaiturit koostuvat päällekkäin ladotuista lukkopykälillä ja koloilla varustetuista massiiviblokeista, jotka voidaan jäykistää yhteen pulteilla tai jälkivaluilla. Nosturilla paikoilleen asennettavien blokkien koko pienenee ylöspäin siirryttäessä. (RIL 123, 252.)

Kulmatukimuurien rungot koostuvat yleensä L-kirjaimen muotoisista elementeistä, jotka joko valmistellaan maissa ja siirretään uivalla nosturilla paikoilleen tai valetaan suoraan kuivaksi eristettyyn kohteeseen. Valetut betonilaiturit valetaan nimensä mukaisesti paikoilleen siirrettävien muottien avulla. Myös kal-

lioseinän eteen voidaan valaa betoniseinä tai laituri voidaan rakentaa suoraan louhitun kallion päälle. Näitä kutsutaan vahvistetuiksi kallioseinälaitureiksi. (RIL 236, 15.)

#### 4.2 Paalu- ja pilarilaiturit

Paalu- ja pilarilaitureissa (kuva 14) laiturin kansi on useaan riviin asennettujen pystytukien varassa. Pystytuet voivat olla lyöntipaaluja, tai perustettu suoraan merenpohjaan, kallioon tai erityisiin arkkuihin. Materiaalit vaihtelevat puupaalusta betoniin tai teräksisiin pilareihin. Laiturin etureunaan voidaan rakentaa teräsponttiseinä tai ns. kombiseinä, joka muodostuu paaluista ja ponteista. Tällöin kyseessä on yleensä laiturikannen rakenteen mukaan nimetty arinalaituri. (RIL 236, 16.)



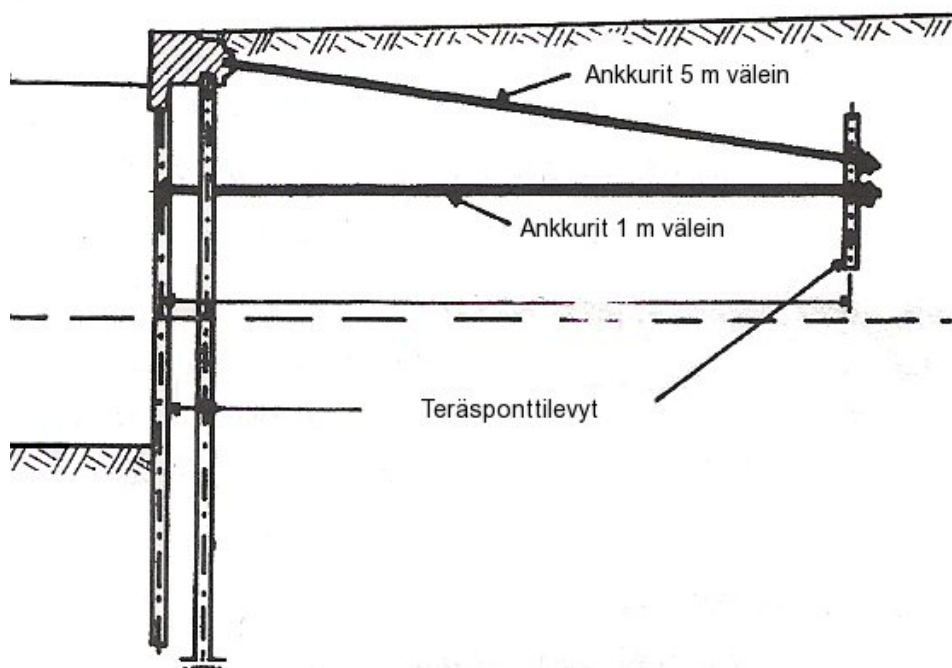
Kuva 14. Paalulaiturin rakenne (Kotkan satama 2008, 15).

Avoimissa ja puoliavoimissa paalu- ja pilarilaitureissa laiturikannen alusta on osin tai kokonaan avoin. Puoliavoimissa laitureissa pohja nousee luiskana laiturin takareunaa kohti. Laiturin kansi voi olla osittain maanvarainen. Avoimissa paalu- ja pilarilaitureissa veden syvyys on yleensä lähes sama laiturin molemmin puolin. Sekä puisissa että betonisissa rakenteissa on omat rakennus-

tekniset haasteensa. Paalut tai pilarit tulee suojata yläpäistään korroosiolta, jään iskuilta ja paalujen väliin jäävän jään kuormituksilta suojaverhouksella. Paalukot tulee mitoittaa riittäville virtauspaineille potkurivirtojen vuoksi ja piste-kuormien tulee jakautua rakenteissa tarpeeksi laajalle alueelle. (RIL 123, 252.)

#### 4.3 Ponttiseinälaiturit

Ponttiseinälaitureiden rakenteelle on ominaista selväpiirteinen ponttirakenne, joka on ankkuroitu joko vaakasuorasti ankkuritauluun (kuva 15) tai vinosti perusmaahan. Ankkurointi voidaan toteuttaa tangoilla tai paaluilla maanpainetta vastaan. Laiturimuuri pollareineen voidaan myös ankkuroida erillisinä, jolloin esimerkiksi ponttiseinä ottaa vastaan vain maan paineen ja laiturin pystykuormat kohdistuvat paaluihin. Itse ponttiseinät voidaan rakentaa puusta tai betonista, mutta yleisemmin käytetään terästä. Perinteisten teräsponttien lisäksi käytetään myös teräspuikipontteja ja teräsponttilieriöitä. Ankkuroimattomia ponttiseiniä käytetään yleensä vain väliaikaisissa tai matalan veden laitureissa. (RIL 123, 252.)



Kuva 15. Ponttiseinän ankkurointi (PIANC 1990, 17).

#### 4.4 Törmäyssuojat

Laituri on suojattava sopivilla törmäyssuojilla alusten aiheuttamilta kuormilta. Yhtäläilla ne suojaavat myös alusten rakenteita. Nykyään törmäyssuojien alukseen koskevat osat eli fenderit ovat yleensä kumista valmistettuja, aiemmin yleisenä materiaalina oli puu. Fenderit voidaan kiinnittää suoraan laituriin pulteilla tai ne on yhdistetty suuremmiksi yksiköiksi teräksisillä tauluilla. (RIL 236, 19.)

Suojaimien vastaanottamia törmäysenergiaa voidaan vaimentaa lisää esimerkiksi erilaisilla kumitäytteillä sekä hydraulisilla tai jousitoimisilla vaimentimilla. Kuormia voidaan vähentää myös kiinnittämällä suojain pohjaan tai rakentamalla se täysin laiturista erillään olevaksi rakenteeksi, jolloin siihen kohdistuvat aluksen aiheuttamat törmäys- ja nojausvoimat varsinaisen laiturimuurin sijaan. (RIL 123, 252.)

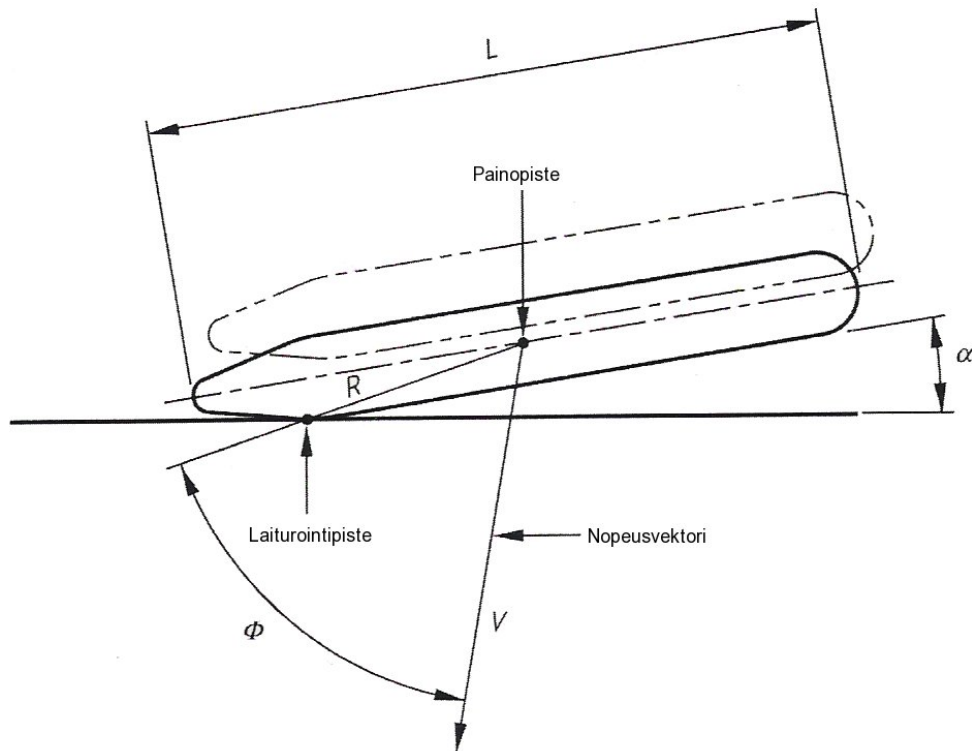
#### 5 ALUKSESTA LAITURIRAKENTEISIIN KOHDISTUVAT VOIMAT

Tässä luvussa esitellään aluksesta laiturirakenteisiin vaikuttavien kuormien yleiset periaatteet ja kaavat. Suomen satamissa vierailevat alukset ovat yleisesti raskastekoisempia kuin monessa muussa maassa, mikä johtuu jääluokitetuilta aluksilta vaadittavista ominaisuuksista.

Voimien arvioinnin ja laskemisen kannalta alusta voidaan yleisesti tarkastella laatikkomaisena kappaleena. Poikkeuksia muodostavat keulan ja perän yläosien leveys, vedenalainen bulbi sekä mahdolliset perinteisestä rakenteesta poikkeavat muodot. (RIL 123, 245.)

## 5.1 Kosketusvoimat

Aluksen kiinnittyessä laituriin kohdistuu suuret hetkelliset kuormat, joita kutsutaan kosketus- tai törmäysvoimiksi. Aluksen tulokulmasta riippuu, kuinka laajoille alueille alukseen ja laituriin voimat vaikuttavat. Periaate selviää kuvasta 16. (PIANC 2002, 9.)



Kuva 16. Aluksen kiinnitys (PIANC 2002, 11).

Japanissa suoritettujen mittausten mukaan yli 50 000 DWT:n aluksien tulokulmat ovat yleensä alle viisi astetta ja vain satunnaisesti kuusi astetta. Tulokulmia määritettäessä voidaan maksimina siis pitää kuutta astetta. Pienemmillä aluksilla tulokulma on suurempi, noin 10 - 15 astetta. Näin on erityisesti aluksilla, jotka eivät käytä hinaajia laituroitaessa. (PIANC 2002, 19.)

Tullessaan laituriin alus aiheuttaa vaakasuoran kuorman, jonka suuruus voidaan arvioida vaimennetun liike-energiayhtälön (kaava 1) avulla.

$$E = k \frac{m \cdot v^2}{2}, \text{ jossa} \quad (1)$$

$E$  = energiaisku

$m$  = aluksen massa eli uppouma

$v$  = aluksen rantautumisnopeus kohtisuoraan laituria vastaan

$k = k_1 \cdot k_2$

$k_1 = 2$ , kun aluksen uppouman suuruinen vesimassa liikkuu aluksen mukana

$k_2 = 0,25$ , kun isku osuu kauas laivan painopisteestä

$k_2 = 1$ , kun isku osuu tihtaalityypiseen laituriin, lähelle laivan painopistettä.

(RIL 123, 245.)

Laituroitaessa syntyvän vaakasuoran kuorman suuruuteen vaikuttavat merkittävimmin uppouma ja aluksen lähestymisnopeus. Nopeus vaihtelee aluksen koon ja olosuhteiden mukaan. Pienillä, alle 10 000 tonnin uppouman aluksilla nopeus on noin 0,16 - 0,60 m/s ja suurilla, yli 100 000 tonnin uppouman aluksilla 0,08 - 0,20 m/s. Mikäli tarkempia arvoja ei ole saatavilla, erikokoisten alusten suositeltuina lähestymisnopeuksina eri sääolosuhteissa voidaan käyttää oheisen taulukon 1 arvoja. (PIANC 2002, 19.)

Taulukko 1. Suositellut lähestymisnopeudet (m/s) (PIANC 2002, 19).

Aluksen uppouma tonneina	Suotuisat olosuhteet	Kohtuulliset olosuhteet	Epäsuotuisat olosuhteet
Alle 10 000	0,16-0,20	0,30-0,45	0,40-0,60
10 000-50 000	0,12-0,80	0,15-0,30	0,22-0,45
50 000-100 000	0,08	0,15	0,2
yli 100 000	0,08	0,15	0,2

Alusta irrotettaessa esiintyy myös suuria kosketusvoimia, mutta yleisesti voidaan olettaa näiden olevan pienempiä kuin kiinnitettäessä. Irrotuksesta aiheutuvia kuormia ei siis tarvitse juurikaan arvioida erikseen, vaan rakenteet voidaan mitoittaa kiinnityskuormien mukaan.

Laiturin suunnittelun kannalta on olennaista, että se mitoitetaan myös normaalisti laituroinnista poikkeaville kuormille. Mitoituksessa suositellaan käytettäväksi erityisiä kosketusenergioille määriteltyjä kertoimia. Mitoitusarvot saadaan siis kertomalla ns. tavallisesta laituroinnista aiheutuva energiaisku vas-

taavalla kertoimella. Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on viitearvoja kertoimille. (PIANC 2002, 23.)

Taulukko 2. Mitoituskertoimia normaalitilanteista poikkeaville törmäyksille (PIANC 2002, 23).

Kosketuksen tyyppi	Alus	Poikkeavan törmäyksen mitoituskerroin
Tankkerit ja bulk-alukset	Suurin	1,25
	Pienin	1,75
Konttialukset	Suurin	1,5
	Pienin	2
Kappaletavara (General cargo)		1,75
Matkustaja- ja ro-ro-lautat		2 tai yli
Hinaajat, pienet alukset jne.		2

Törmäyssuojan ja jossain määrin myös aluksen kyljen muodonmuutoksen perusteella voidaan laskea suurin kosketusvoima, jonka voi laskea olevan riittävä myös tuulesta aiheutuvalle nojausvoimalle (RIL 123, 245).

Törmäyssuojan tulee absorboida tietty määrä energiaa, jotta vältetään aluksen ja varsinaisten laiturirakenteiden vauriot. Kun oletetaan, että aluksen aiheuttama kineettinen energia absorboituu vain fenderiin, eli ei huomioida aluksen ja laiturirakenteen muodonmuutoksia, voidaan energia laskea kaavasta 2. (PIANC 2002, 8.)

$$E_f = f \cdot R_m \cdot d_m, \text{ jossa} \quad (2)$$

$E_f$  = aluksen kineettinen energia, joka suojaimen tulee absorboida

$f$  = suojaimen absorboitumistehokkuutta kuvaava kerroin, 0...1

$R_m$  = suojaimen suurin reaktiovoima

$d_m$  = suojaimen suurin poikkeama.

(Kaava: PIANC 2002, 8.)

## 5.2 Tuuli-, virtaus-, aalto-, ja jääkuormat

### 5.2.1 Nojausvoimat

Nojausvoimat syntyvät, kun tuuli painaa alusta laituria vasten. Tuulelle altista aluksen pinta-alaa arvioitaessa tulee ottaa huomioon tuulta estävät rakenteet ja maasto. Pistolaiturissa suojanpuolen tuulivoimavähennys saattaa olla jopa 50 prosenttia. (RIL 123, 246.)

Tuulen alukseen aiheuttama kokonaiskuorma saadaan kaavasta 3.

$$F_w = C_F \cdot q \cdot A_v, \text{ jossa} \quad (3)$$

$F_w$  = tuulen alukseen aiheuttama kokonaiskuorma

$C_F$  = voimakerroin:

tavanomaiset alukset, tuuli vaikuttaa aluksen pituussuuntaan  $C_F = 1,0$

tavanomaiset alukset, tuuli vaikuttaa kohtisuoraan aluksen sivua vastaan  $C_F = 1,3$

kulmikas alus  $C_F = 1,5$

$q$  = tuulen nopeuspaine pinnan  $A_v$  painopisteen korkeudella

$A_v$  = aluksen tuulta vastaan kohtisuora, vedenpinnan yläpuolinen projektiopinta-ala.

(RIL 144, 111.)

Vuorovettä suomalaisissa satamissa ei käytännössä esiinny. Virtauksetkin ovat useimmiten melko pieniä ja paikallisia ja siksi erityistapauksia. Tuulen aiheuttamia virtauksia ja aallokkoa sen sijaan esiintyy. Virtauksista alukseen vaikuttavat kuormat voidaan määritellä kaavalla 4.

$$P_w = \mu_k \cdot p \cdot A_w, \text{ jossa} \quad (4)$$

$P_w$  = virtauskuorma

$\mu_k$  = hydrodynaaminen muotokerroin



$p$  = virtaavan veden aiheuttama paine

$A_w$  = aluksen virtausta vastaan kohtisuora, vedenpinnan alapuolinen projektiopinta.

(RIL 144 2002, 111.)

Aluksesta kohdistuu laituriin siis nojausvoima ja vastaavasti laiturin törmäys-suojaimista kohdistuu reaktiovoima aluksen runkoon. Alusten kehittyttyä ja aluskoon kasvun myötä runkolevytyksen toteutus on muuttunut. Runkolevyt valmistetaan nykyään aiempaa ohuemmasta, mutta lujuudeltaan vahvemmas-ta teräksestä. Poikittaisten vahvikkeiden välimatkaa on pidennetty ja vaikka laiturointikuormat ovat kasvaneet, ovat runkojen paineenkestävyydet heiken-tyneet. Erilaisten alusten runkoihin kohdistuvan sallitun paineen viitearvoja on taulukossa 3. (PIANC 2002, 25.)

Taulukko 3. Alusten runkoihin kohdistuvan sallitun paineen viitearvoja (PIANC 2002, 25).

Aluksen tyyppi	Rungon paine kN/m <sup>2</sup>
<b>Konttialukset 1. ja 2. sukupolvi</b>	< 400
3. sukupolvi	< 300
4. sukupolvi	< 250
5. ja 6. sukupolvi (Superpost Panamax)	< 200
<b>Kappaletavara-alukset (general cargo)</b>	
< 20 000 DWT	400-700
> 20 000 DWT	< 400
<b>Tankkerit</b>	
< 60 000 DWT	< 300
> 60 000 DWT	< 350
<b>VLCC</b>	150-200
Kaasualukset (LNG/LPG)	< 200
Bulk-alukset	< 200
SWATH	Aluksissa yleensä kylkilista
Ro-Ro-alukset	Aluksissa yleensä kylkilista
Matkustaja-alukset	Aluksissa yleensä kylkilista

### 5.2.2 Hankaus ja sysäykset

Kun määritetään rakenteiden kokonaiskuormia satamissa, alusten aaltokuor-mien huomioiminen ei ole usein tarpeellista. Poikkeuksen muodostavat tilan-

teet, joissa alueella esiintyy aaltoja, joiden jaksot ovat yli 5...7 sekuntia. (RIL 144, 111.)

Aluksen nojatessa laituriin vaikuttaa siihen aallokon jaksonmitasta riippuva vaakasuora tukeutumisvoima. Laiturin etureunan pituus- tai pystysuuntainen hankauskuorma on tukeutumisvoiman sekä aluksen ja törmäyssuojan hankauspintojen välisen kitkakertoimen tulo. Kitkakerroin on teräskylkisen aluksen kanssa puisella suojaimella n. 0,40 ja kumisella 0,50. (RIL 144, 112.)

Tukeutumiskuorma on laskettavissa kaavasta 5.

$$F_{qs} = k \cdot \frac{W_k + P_w}{L_b}, \text{ jossa} \quad (5)$$

$F_{qs}$  = tukeutumiskuorma laiturin pituusyksikköä kohden

k = kerroin:

1,0, kun merkittävää aallokkoa ei ole

1,1...1,2, kun laituri paikalla saattaa esiintyä pitkäjaksoista aallokkoa

1,2...1,5 laiturin päihin kohdistuvia kuormia määrättäessä, mikäli laituri on lyhyempi kuin laiva

$W_k$  =  $F_w$ , kokonaistuulikuorma (kaava 3)

$P_w$  = virtauskuorma (kaava 4)

$L_b$  = aluksen ja laiturin välinen kosketuspituus.

(RIL 144, 112.)

Hankauskuorma on suurimmillaan yhtä suuri kuin tukeutumiskuorma, eli hankauskuorma saadaan kaavalla 6.

$$F_{qn} = \mu_f \cdot F_{qs}, \text{ jossa} \quad (6)$$

$F_{qn}$  = hankauskuorma

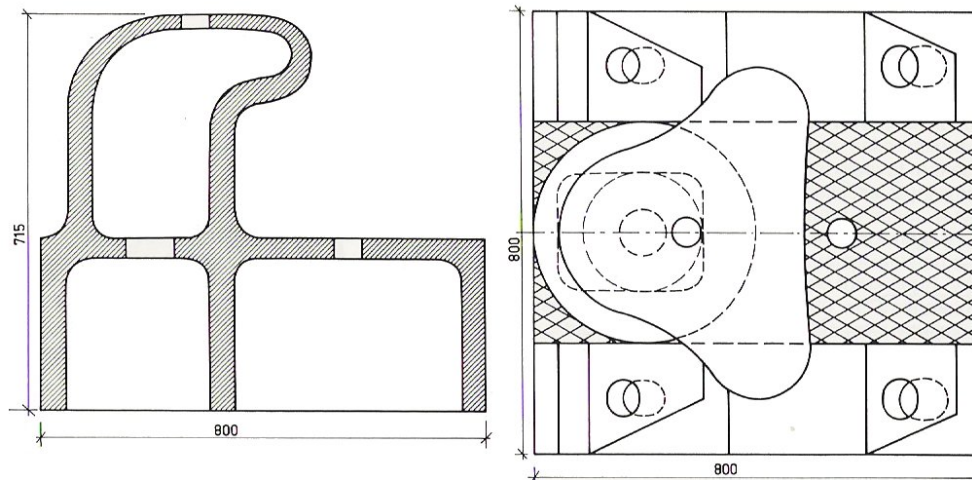
$\mu_f$  = hankauspintojen välinen kitkakerroin

$F_{qs}$  = tukeutumiskuorma (kaava 5).

(RIL 144, 112.)

### 5.2.3 Köysivoimat

Kun tuuli painaa alusta laiturista ulospäin, kohdistuu kuorma aluksen kiinnitysköysiin ja köysien kiinnityspisteisiin aluksessa ja laiturissa. Köysien kiinnityspisteinä aluksessa ovat yleensä joko pollarit tai moorinkivinssit. Vinssien jarruille on annettu tietyt raja-arvot, joiden puitteissa jarrujen tulisi pitää ja joihin jarrut tulisi kiristää. Näihin ei kuitenkaan ole yleensä luottamista, sillä harvoin jarruja voidaan kiristää oikeaan momenttiin vain silmämääräisesti. Mikäli jarrut ovat liian kireällä, suurella tuulikuormalla vahingot kohdistuvat joko kiinnitysköysiin tai laiturin kiinnityspisteisiin. Laiturin kiinnityspisteitä kutsutaan usein pollareiksi riippumatta niiden todellisesta, teknisestä rakenteesta. Kuvasta 17 selviää perinteisen 0,75 MN pollarin rakenne.



Kuva 17. Rakennekuva 0,75 MN pollarista (RIL 123 1979, 258).

Alusten kiinnitysköysien murtolujuuksien likiarvot selviävät taulukosta 4.

Taulukko 4. Kiinnitysköysien murtolujuudet tonneina (Tsinker 1997, 263).

Läpimitta (mm)	Manilla	Nylon	Polyesteri	Polypropyleeni	6x24 galvanoitu teräsvaijeri	6x37 galvanoitu teräsvaijeri
25	4	13	10	6	26	29
35	7	23	17	11	-	-
38	-	-	-	-	57	65
50	14	48	40	24	100	113
75	29	111	79	52	-	-
100	48	180	136	86	-	-
125	-	282	-	-	-	-

Laitureissa käytettävät pollarit, poijut ja vastaavat kiinnikkeet tulee mitoittaa niin, että ne kestävät aluksen aiheuttamat kuormat kaikissa sääolosuhteissa ja kaikissa aluksen kuormitustilanteissa. Kiinnityspisteitä mitoitettaessa tulee ottaa myös huomioon niiden mahdollinen epätasainen kuormitus. Pollarit sijoitetaan usein siten, että vain aluksen keulan ja perän kiinnitysköydet ovat riittävässä kulmassa pitääkseen aluksen kiinni laiturissa. Pollarit kuormittuvat vaakatasossa  $180^\circ$ :n alueella ja pystytasossa  $30^\circ$ :n alueella vaakatasosta ylöspäin. (RIL 123, 246.)

Yksittäisten kuormituspisteiden vähimmäiskuormat voidaan laskea kaavoista 7 ja 8.

$$F_{bt} = \frac{1,5 \cdot (W_k + P_w)_t}{n} \quad (7)$$

$$F_{bl} = \frac{1,5 \cdot (W_k + P_w)_l}{0,5n} \quad (8)$$

$$F_v = F_{bt} \cdot \sin \beta \text{ tai } F_v = F_{bl} \cdot \sin \beta$$

joissa

$F_{bt}$  = kiinnityspisteiden kuorma kohtisuoraan laiturin suuntaa vastaan

$F_{bl}$  = kiinnityspisteiden kuorma laiturin suuntaan

$F_v$  = kiinnityspisteiden kuorman pystysuora komponentti

$(W_k + P_w)_t$  = alukseen vaikuttava maksimikuorma kohtisuoraan sivulta

$(W_k + P_w)_l$  = alukseen vaikuttava pituussuuntainen maksimikuorma

$n$  = toimivien kiinnityspisteiden lukumäärä

$\beta$  = kiinnitysköysien kaltevuuskulma vaakatasosta ( $0 \dots 45^\circ$ ).

(RIL 144, 113.)

Lisäksi suurten alusten pääkiinnityspisteiden tulee kestää kuorma, joka saadaan kaavasta 9.

$$F_{bt} = F_{bl} = 1,2 \cdot (W_k + P_w) \quad (9)$$

(RIL 144, 113.)

Kun tuulikuorma on ns. kriittinen, eli tuuli painaa suoraan aluksen keskilinjaa kohti, kohdistuu suurin kuorma muutamaanki aktiiviseen kiinnityspisteeseen. Kiinnityspisteiden kokonaismäärän, niiden välisten vähimmäisetäisyyksien, sekä aktiivisten kiinnityspisteiden lukumäärän mitoitusarvot riippuvat lähinnä aluksen pituudesta. Joitakin mitoitusarvoja on taulukossa 5. Erikokoisten alusten aiheuttamien voimien suuntaa antavia arvoja on taulukossa 6. (Tsinker 1997, 263-264.)

Taulukko 5. Kiinnityspisteiden lukumäärä (Tsinker 1997, 263).

Aluksen pituus	Kiinnityspisteiden vähimmäisetäisyys	Aktiivisten kiinnityspisteiden lukumäärä
<50 m	20 m	2
150 m	25 m	4
250 m	30 m	6
>300 m	30 m	8

Taulukko 6. Aluksen pollareihin kohdistama veto (Tsinker 1997, 264).

Aluksen uppouma tonneina	Suora veto (kN)	Aluksen uppouma tonneina	Suora veto (kN)
2000	100	100000	1000
10000	300	200000	1500
20000	600	>200000	2000
50000	800	-	-

#### 5.2.4 Jääkuormat

Satamissa liikkuvat alukset aiheuttavat laiturirakenteisiin erilaisia jääkuormia. Alusten mukana tai niiden potkurivirtauksien voimasta liikkuvat jäälautat saattavat iskeytyä laiturin rakenteisiin, kuten paaluihin tai seinämiin. RIL 123:n (1979, 242) mukaan jääkappaleiden törmäysnopeudet potkurivirtauksen suunnassa voivat olla n. 5 m/s. Kappaleiden massoista riippuen niiden aiheuttamat törmäysvoimat saattavat olla n. 200 - 500 kN.

Yleensä jää ei satamissa pääse puristumaan suoraan rakenteita vasten. Lai-  
van painaessa jäämassoja laituria kohti tätä kuitenkin ajoittain esiintyy. Aluk-

sen ja laiturin väliin puristuvan jään aiheuttama vaakasuuntainen voima paa-luihin on mitoitusohjeiden mukaan n. 0,2 - 0,5 MN. (RIL 123, 242.)

Jäiden vuoksi alukset saattavat aiheuttaa kuormia myös epäsuorasti muihin laiturin osiin. Usein jäämassoja ajetaan pois laiturin ja aluksen välistä käyttämällä koneita voimakkaasti ja liikuttamalla alusta springien varassa edestakaisin, jolloin kiinnityspisteisiin kohdistuvat kuormat kasvavat.

### 5.3 Eroosio

Pohjan maa-ainekset ovat alttiita alusten potkurivirroille. Erityisen suuria potkurivoimia esiintyy laituroitaessa ja uloslähdöissä (varsinkin talvisin), ohjailupotkureita käytettäessä ja kahden potkurin ristikäytössä. Eroosio aiheuttaa pohjan epätasaisuutta, maa-aineksen valumista laiturirakenteiden läpi sekä rakenteiden siirtymistä tai rikkoutumista. Eroosio aiheuttaa myös vahinkoja alusten potkureille. (RIL 123, 246.)

Eroosiosuojana käytetään nykyisin pohjaan valettua betonilaattaa, joka muodostuu ns. lokeropalkeista ja niiden väliin valetusta betonista. Aiemmin laitureiden, erityisesti hirsiarkkujen, suojaksi pohjaan laskettiin kiviä tai louhetta. Näidenkin päälle valetaan nykyisin betonia vahvistamaan rakennetta. Eroosiosuojauksia on viime vuosina vahvistettu monissa satamissa. Syynä on aiempaa voimakkaammilla propulsiojärjestelmillä varustettujen alusten yleistyminen. (RIL 236, 166.)

Potkureiden virtauksia voidaan arvioida joko ns. impulssiteorian perusteella tai käyttää arviointiin potkurikäyrästöjä, jotka on muodostettu mallikokeiden perusteella (Kajatkari 1977, 10).

### 5.4 Pistokuormat

Pistokuormia eli pienelle pinta-alalle vaikuttavia voimia esiintyy erityisesti pää- sekä ohjailupotkureiden käytön yhteydessä. Virtaavasta vedestä aiheutuviin, laiturirakenteeseen kohtisuoraan vastaan vaikuttaviin kuormiin pätevät periaatteessa samat laskukaavat kuin alustenkin suhteen (kaava 4). Muotokertoimen arvo virtauksen suuntaiselle kuormalle on sileällä pinnalla n. 0,005 ja

epätasaisella pinnalla 0,01...0,10. Karkean pinnan, kuten betonin, vastaava arvo on n. 0,015. (RIL 144, 62.)

Propulsiovirtausten vaikutusten tarkka arviointi on yleisellä tasolla vaikeaa, koska muuttujia on paljon. Virtauksiin ja niiden kohdistumiseen vaikuttavat mm. laiturin ja aluksen rakenteiden muodostamat esteet, potkureiden määrä ja muoto, propulsiotyyppi, -teho ja laitteiston sijoitus. Jonkinlaisena nyrkkisääntönä voidaan pitää, että ohjailupotkurit antavat peruutettaessa 7 - 20 prosenttia vähemmän työntöä kuin eteenpäin ajettaessa (Kajatkari 1977, 13).

## 5.5 Rikkominen

Laitureiden mitoittaminen kaikille mahdollisille kuormille ei ole jo taloudellisista syistä mahdollista. Aluksen aiheuttama rikkominen on tilanne, jossa vaikuttavat voimat ovat aina tapauskohtaisia ja ennakoimattoman suuria. Aluksen hallintaa voi tietyissä olosuhteissa olla erittäin vaikeaa, jopa mahdotonta. Tällöin alus voi törmätä laituriin väärässä kulmassa tai liian suurella nopeudella. (PIANC 1990, 11.)

Laivan kyljessä sijaitseva hankauslista aiheuttaa laituriin n. 30...300 mm levyisen viivakuorman. Kuormitus saattaa rikkoa suojalaitteiden pintaosia suoralla puristuksella ja noustessaan aluksen liikkeen myötä. Lista saattaa myös jäädä suojalaitteiston yläpuolelle ja aluksen laskeutuessa muodostaa suuren pystykuormituksen suojalaitteiston tai laiturin etureunaan.

Jääluokitettujen alusten kylki kestää veden painetta n. 2,4...8,6 MN/m<sup>2</sup> 1...1,2 metrin korkeudelle vesilinjasta. Yleisesti aluksen kyljen vedenpaineenkestävyys saadaan kaavasta 10. (RIL 123, 246.)

$$p = \frac{50^3 \sqrt{l}}{10 + h}, \text{ jossa} \quad (10)$$

p = paine

l = laivan pituus

h = tarkasteltavan kohdan korkeus vesilinjasta

(RIL 123, 246.)

Aluksen keulan vedenalaisen bulbin törmäysvoima on sen pisaramaisesta muodosta johtuen erittäin suuri. Mikäli aluksen lähestymiskulma on väärä, toisin sanoen liian jyrkkä, osuu aluksen bulbi ensimmäisenä laiturin vedenalaisiin rakenteisiin. Törmäyksen vaikutus ja aiheutuvat vauriot riippuvat ensisijaisesti laiturin rakennetyypistä ja materiaaleista. (PIANC 1990, 7-8.)

Melko hyvin törmäyksiä kestävät betoniset massiivilaiturit, koska materiaali on vahvaa ja iskun energia jakautuu laajalle pinta-alalle. Vaurioiden korjaaminen on yleensä verrattain helppoa ja edullista. Kasuunilaitureihin törmättäessä saattavat rakenteen saumat repeytyä, jolloin täytemaa valuu ulos. Tällöin vaarana on laiturin kannen kantavuuden heikkeneminen. Korjaus voi kestää ja laiturilla olla pois käytöstä pitkiäkin aikoja. Hyvä ominaisuus törmäysten kannalta kasuunilaitureissa on se, että vahinko saattaa rajoittua vain yhteen täyteväliin, jolloin viereiset säilyvät edelleen ehjinä. (PIANC 1990, 9.)

Erilaiset ponttiseinälaiturit ovat melko alttiita suurille vahingoille. Tällainen rakenne kestää heikosti vaakasuoria leikkausvoimia. Rakenteen vaurioitumisesta aiheutuvat riskit ja heikentymiset ovat samantyyppiset kuin kasuunilaitureissakin, mutta vahingot ovat yleensä laajemmat ja kalliimmat korjata. Avoimet ja puoliavoimet paalu- ja pilarilaiturit ovat erityisen herkkiä vedenalaisten törmäysten suhteen. Yhden tai useamman paalun vaurioituessa heikkenee yläpuolisen laiturikannen kantavuus merkittävästi. Heikentyminen on usein huomattavasti laajempi kuin varsinainen törmäysalue. Rakenteen korjaaminen on hankalaa, kallista ja aikaa vievää, sillä rikkoutuneiden paalujen lisäksi myös laiturin kansi ja mahdollisesti vaurioituneet laiturin varusteet on korjattava. (PIANC 1990, 9.)

Fenderit ovat yleisin tapa suojata laituria rikkoutumiselta. Tehokkaat suojaimet ovat kuitenkin kalliita. Lisäksi niiden läpimitta rajoittaa suojauksen toimivuutta. Riittävän suuressa kulmassa lähestyvä alus rikkoo todennäköisesti laiturin alaosa fendereista huolimatta. (PIANC 1990, 10.)



## 6 TARKASTELUSSA KOTKAN SATAMAN ITÄLAITURI

Työn tarkastelukohteeksi valittiin Kotkan Kantasatamassa (kuva 18) sijaitseva Itälaituri. Se valittiin lähinnä historiansa ja monimuotoisen rakenteensa takia. Itälaituri on palvellut elinkaarensa aikana monenlaisessa käytössä ja sitä on modernisoitu aina käyttötilanteen mukaan. Nykyisellään laituri koostuukin useamman erilaisen laiturityypin yhdistelmästä. Tarkastelun päämääränä oli selvittää laiturin historiaa, rakennetta, käyttöastetta ja soveltuvuutta moderniin alusliikenteeseen.



Kuva 18. Kotkan Kantasatama (Kotkan sataman internet-sivut).

### 6.1 Historia

Itälaituri valmistui virallisesti vuonna 1921. Sen rakentaminen oli kuitenkin aloitettu jo kauan ennen Suomen itsenäistymistä, vuonna 1911. Rakentamisaikana laituri vaurioitui pahoin, kun sen päähän varastoitiin venäläisten sotilasviranomaisten vaatimuksesta suuri määrä kivihiiltä, jonka painoa laituria ei oltu rakennettu kestäämään. Laituri repeytyi ja vaurioita päästiin korjaamaan vasta itsenäistymisen myötä, ja lokakuussa 1918 myös varsinaisia rakennustöitä

voitiin jatkaa. Laiturin rakennustöiden viivästyessä ja kustannusten kasvaessa ryhdyttiin Itälaiturista käyttämään kotkalaisten keskuudessa myös pilkallista nimitystä "Miljoonamöljä". (Saarinen 2008, 133-134.)

Päälaituri oli pituudeltaan 281 metriä ja leveydeltään 60 metriä, sen reuna-muurit oli tehty graniitista ja syvyyttä laiturin vieressä oli seitsemän metriä. Laiturin varustukseen kuului myös sataman silloinen ainoa oma nostolaite, liikuteltava höyrynosturi. Laituri valmistui hyvään aikaan, sillä Suomen vienti alkoi juuri vetää, eikä kasvu olisi ollut mahdollista ainoastaan vanhojen rakenteiden varassa. Paperi ja selluloosa alkoivat nousta tärkeimmiksi vientituotteiksi sahataran rinnalle. 1930-luvulla Kotkan sataman osuus koko maan paperin viennistä oli jopa noin 70 prosenttia ja satama oli kasvanut maan suurimmaksi vientisatamaksi. (Saarinen 2008, 134-135 & 168.)

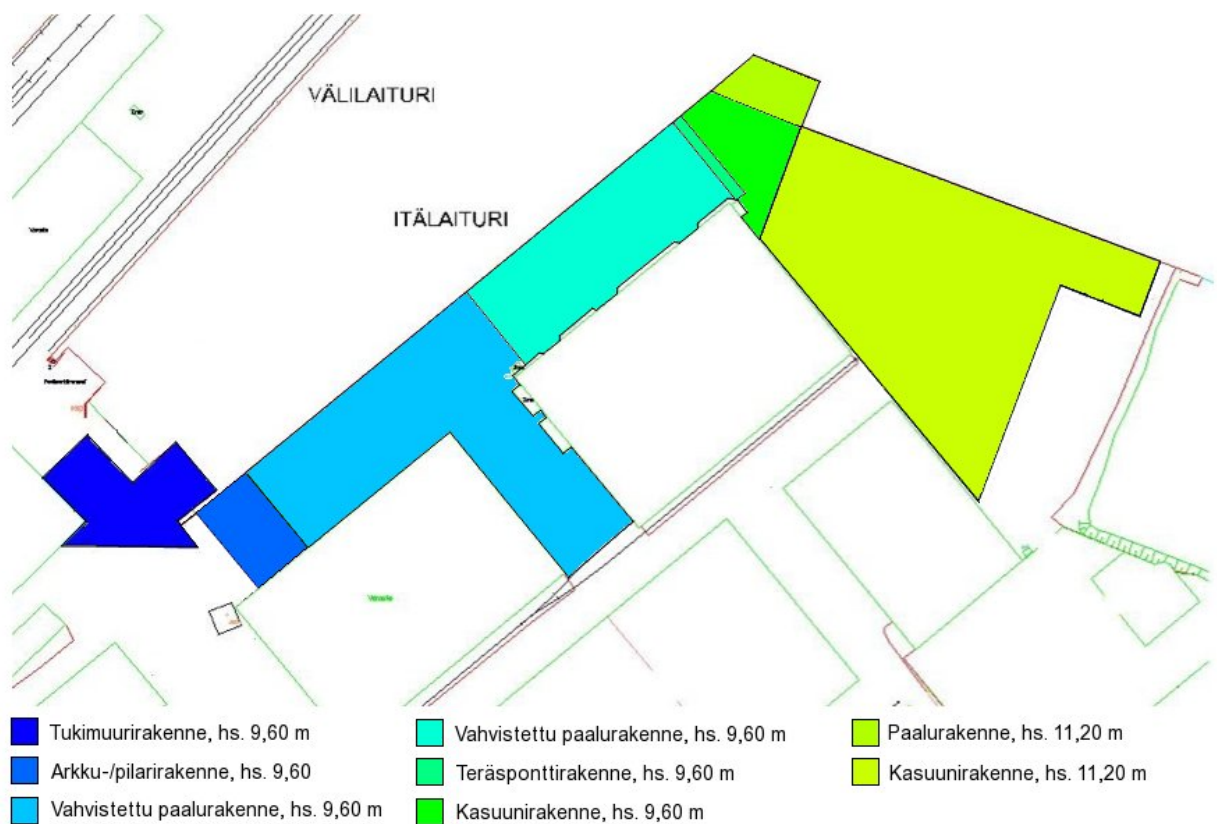
Sotien aikana laituri palveli mm. sotalaivojen asemapaikkana. Laituri kärsi jonkin verran vaurioita pommituksissa, mutta suuremmilta vahingoilta vältyttiin. Vaikka siviili liikenne typistyi murto-osaan entisestään, oli Kotkan satama edelleen Kaakkois-Suomen alueelle erittäin tärkeä. (Saarinen 2008, 174-175 & 179-181.)

Sotien jälkeen sataman merkitys kasvoi entisestään, kun kuusi karjalaista satamaa menetettiin Neuvostoliitolle. Itälaiturin vahvistaminen oli osa suurta sataman kehitysohjelmaa, joka toteutettiin 1940- ja 1950-lukujen vaihteessa, jolloin myös Itälaiturin ja Pohjoislaituriin väliin rakennettiin uusi pistolaituri. (Saarinen 2008, 187 & 191.)

Kantasatamaa saneerattiin 1970-luvulla, jolloin Itälaiturin ja Rantalaiturin välinen satama-allas täytettiin varastoalueeksi ja Itälaiturin pää muotoiltiin uudelleen. Laituri sai nykyisen muotonsa ja päätyyn saatiin yli kaksisataa metriä uutta laiturilinjaa. Itälaituri on edelleen kaupallisessa käytössä. Kun sataman useita muita toimintoja on viime vuosina ohjattu Hietaseen ja Mussaloon, kulkee ns. konventionaalista liikennettä edelleen Itälaiturin kautta. (Saarinen 2008, 255 & 281.)

## 6.2 Itälaiturin rakenteet

Itälaiturin nykymuodossaan voidaan katsoa koostuvan kahdeksasta osasta, jotka poikkeavat rakenteellisesti toisistaan paikoin suurestikin. Laituri sisältää niin pilari- ja paalurakenteita kuin kasuuni-, arkku-, tukimuuri- ja teräsponttira-kenteitakin. Laiturin viereisten vesialueiden haratut syvyydet ovat päätylaiturin osalta 11,2 metriä ja muualla 9,6 metriä. Laiturissa on kaksi ramppia, joista toinen laiturin tyvessä ja toinen ulkokulmassa. Tyven ramppi on tukimuurirakenteinen, kun taas päätylaiturin ramppi on perustettu paaluille. Laiturin rakennejako selviää kuvasta 19. (Kotkan satama 2008.)



Kuva 19. Itälaiturin rakennejako ja haratut syvyydet (Kotkan satama 2008, 2-17).

## 6.3 Laiturin käyttöaste ja käyttömahdollisuuksien arviointi

Itälaituri on ollut vielä viime vuosinakin melko aktiivisessa käytössä, tämä ilmenee laiturin käyttöastetiedoista. Vuonna 2007 laiturin kolmen osan yhteenlaskettu aluskäyntimäärä oli 161, keskimääräiset viipymisajat olivat n. 40 - 70

tuntia. Käyttöaste prosentti kutakin vuorokautta kohden oli n. 28 - 35 %. Seuraavana vuonna aluskäyntejä kertyi 205 kappaletta, viipymisajat olivat 20 - 40 tuntia ja käyttöaste laiturin kahdella osalla n. 19 - 38 prosenttia ja yhden osalta n. 6 prosenttia. Talouden suhdanteet näkyvät selkeästi vuoden 2009 käyttöastetiedoissa, sillä aluskäyntejä kertyi vain 59 kappaletta. Vaikka alusten viipymisajat olivat pidempiä, heikkenivät käyttöasteet 20 - 26 prosentin tienoille ja yhden osan osalta alle prosenttiin. (Kotkan Satama 2010.)

Rakenteellisesti arvioituna Itälaiturin liikenteen merkittävälle rajoittamiselle ei ole varsinaisia perusteita, vaikka laituri onkin joiltain osiltaan jo lähes 90 vuotta vanha. Laituri on kestänyt viime vuosina varsin aktiivisessa käytössä, joten ei ole syytä olettaa, etteikö se tavallisen elinkaarihuollon puitteissa kestäisi jatkossakin, mikäli kuormitus ei oleellisesti muutu. Laituria on peruskorjattu, veden syvyyydet ovat riittäviä melko suurillekin aluksille ja esimerkiksi perinteisesti vaurioalttiit paalurakenteet ovat osittain vahvistetut. Kantavuustiedoista ilmenee, että suurilta osin laiturin kansi on mitoitettu  $40 - 50 \text{ kN/m}^2$  kuormille. (Kotkan satama 2008, 2-17.)

Kantavuuden kannalta heikoimmat kohdat ovat laiturin alkupään arkku-/pilarirakenne sekä laiturin luoteisosan ja päätylaiturin erottava teräsponttirakenteinen lyhyt osio. Alkupään 26 metriä pitkän osan rajoittavaksi tekijäksi nousee laiturin reuna eli n. 15 metriä leveä alue. Tämä alue on mitoitettu vain  $25 \text{ kN/m}^2$  eli  $2,5 \text{ t/m}^2$  tavarakuormille. Samoin pää- ja päätylaiturit erottava vain neljä metriä pitkä teräsponttiosio on 15 metriä leveältä alueelta mitoitettu  $20 \text{ kN/m}^2$  eli  $2 \text{ t/m}^2$  kuormille. (Kotkan satama 2008, 2-17.)

Tsinkerin (1997, 272) käsikirjassa mainittujen mitoitusarvojen mukaan Itälaiturin heikoimpienkin osien tulisi kestää esimerkiksi autojen, rekkojen, yleislastin ja säkkitavarana kuljetettavan lastin paino. Sen sijaan esimerkiksi paperilastin osalta liikuttaisiin jo rajoilla, sillä sen mitoitusarvona käytetään n.  $25 - 55 \text{ kN/m}^2$ . Rajoittamalla laiturin käyttöä vain vahvempiin osiin kasvaisivat myös sen käyttömahdollisuudet jonkin verran, esimerkiksi terästuotteiden kuljetukseen varauksin.

Kantavuutta merkittävämpi rajoittava tekijä saattaa olla rakenteiden eroosiosuojaus. Laituri sisältää useampia rakenneratkaisuja, jotka ovat hyvin

alttiita suurille potkurivirroille ja ohjailupotkurien aiheuttamille pistokuormille. Suurten, nykyaikaisilla ohjailujärjestelmillä varustettujen alusten vastaanotto asettaisi kovat vaatimukset niin paalu- ja arkkurakenteille, niiden täytemaille ja pohjan suojauksillekin.

Kokonaan erillinen asia laiturin tulevan käytön mahdollisuuksia arvioitaessa on alueen infrastruktuuri. Tähän vaikuttaa kaupunkisuunnittelu, alueen liiketoiminta, kaavoitus sekä lukuisat muut yksittäiset seikat. Yleinen trendi on ollut, että eri puolilla Suomea varsinainen rahtiliikenne pyritään nykyään sijoittamaan kauemmaksi asutuksesta. Myös sataman eri toimijat pyrkivät keskittämään omia toimintojaan niiden liiketoiminnalle oleellisimpiin sijainteihin.

Edellä mainitut seikat huomioon ottaen Itälaituri soveltuu rakenteellisesti nykyiseen ro-ro- ja lo-lo-liikenteeseen, tietyt rajoitteet huomioiden. Mikäli laiturin käyttötavan muutoksille tulee lähivuosina tarvetta, voisi sen katsoa soveltuvan hyvin myös matkustaja- tai autolauttaliikenteeseen. Tällaista liikennettä puoltaisi myös laiturin sijainti asutuksen lähellä. Liikennöivät alukset tulisi kuitenkin selvittää tarkkaan, sillä juuri näissä alusluokissa aiemmin mainitut tehokkaat ohjailujärjestelmät ovat varsin yleisiä.

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomessakin on havaittu useampia tapauksia, joissa esimerkiksi alusten liian suuret potkurikuormat ovat vahingoittaneet itse laiturin rakenteita, aiheuttaneet pohjaeroosiota tai täytemaan siirtymisiä. Seurauksena on ollut mm. laiturikannen kantavuuden heikentyminen. Alusten käsittelyä satamassa ei voida yksiselitteisesti rajoittaa, jotta kuormat eivät kasvaisi liian suuriksi. Aluksen ohjailu tapahtuu aina ensisijaisesti olosuhteiden ehdoilla. Aluksen päälliköllä tulee olla vapaus käyttää aluksen voimavaroja aina tilanteen mukaan.

Työn lähdekirjallisuudesta on pääteltävissä, että laivojen ja satamien suunnittelun väliltä puuttuu niitä yhdistävä taho tai tekijä. Aluksista aiheutuvia kuormia käsitellään satama- ja laiturisuunnittelukäsikirjoissa samoin kuin kaikkia muitakin kuormittavia tekijöitä. Kirjallisuudessa otetaan kuitenkin harvoin huomioon alusten alati jatkuvaa kehitystä, vaan niiden vaikutusta arvioidaan kuten luonnonvoimienkin osalta. Siksi olisikin oleellista, että käsikirjoja ja kuormi-

tusohjeita päivitettäisiin säännöllisesti. Vastaavaa ajattelutapaa voidaan päätellä esiintyvän myös laivasuunnittelun puolella. Rakenteista ja varusteista saatetaan suunnitella joko liian vahvoja ja tehokkaita tai täysin päinvastoin osin liian heikkoja. Eli erityyppisissä laitureissa saattaa tilanteesta riippuen joko johtua alukseen liian suuria reaktivoimia tai laiturit saattavat kärsiä merkittäviä vaurioita vain aluksen ominaisuuksien ylimitoituksen vuoksi.

Suomen satamissa otetaan nykyään vastaan yhä suurempia aluksia ja useammin kuin koskaan aiemmin. Liikenteen aiheuttama kokonaiskuormitus on kasvanut merkittävästi työn tarkastelujakson alkupuolelta. Satamilla on suuri haaste pitää kaikki laitureiden rakenteet ja varusteet turvallisten mitoitusarvojen mukaisina. Vaikka laivojen merkitsevät ja varsinaista liikennöintiä rajoittavat mitat eivät olisikaan kasvaneet paljon, ovat nykyalusten aiheuttamat kuormat usein huomattavasti suurempia. Kehittyneen alussuunnittelun, entistä vahvempien materiaalien sekä uudenlaisten rakennustapojen myötä alusten hyötysuhde, lastikapasiteetti ja konetehot ovat kasvaneet. Juuri nämä tekijät vaikuttavat siihen, että suuriakin kuormia esiintyy tilanteissa, joissa niitä ei välttämättä aiemmin ole ollut samassa mittakaavassa. Muuttuneet olosuhteet luovat uudenlaisia vaatimuksia laitureiden elinkaarihuollon suunnittelulle ja kunnonhallinnalle.

## LÄHTEET

Kajatkari, R. 1977. Laivojen potkurivirtausten aiheuttama pohjaeroosio ja virtausten aiheuttamat vauriot laiturirakenteissa, diplomityö. Helsinki: Teknillinen Korkeakoulu.

Kotkan Satama Oy, Insinööritoimisto Matti Pitkälä Oy 2008. Laitureiden kanta-vuusselvitys 2008, Kantasatama Itälaituri. Kotka: Kotkan Satama Oy.

Kotkan Satama Oy 2010. Excel-taulukko: Kotkan Sataman laitureiden käyttö-astetiedot vuosilta 2007, 2008 ja 2009. Kotka: Kotkan Satama Oy.

Kotkan sataman internet-sivut. Saatavissa: [www.portofkotka.fi](http://www.portofkotka.fi) (viitattu 15.04.2010).

Merenkululaitos 2009. Ulkomaan meriliikennetilasto 2008, Merenkululaitoksen tilastoja 5/2009. Helsinki. Saatavissa: [http://portal.fma.fi/sivu/www/fma\\_fi/tietopalvelut/tilastot/tilastojulkaisut](http://portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/tietopalvelut/tilastot/tilastojulkaisut) (viitattu 28.03.2010).

Merenkululaitos 2009. Tavara- ja matkustajaliikenne aluksilla Suomen satamissa 1998-2008, Merenkululaitoksen tilastoja 6/2009. Helsinki. Saatavissa: [http://portal.fma.fi/sivu/www/fma\\_fi/tietopalvelut/tilastot/tilastojulkaisut](http://portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/tietopalvelut/tilastot/tilastojulkaisut) (viitattu 28.03.2010).

PIANC 1990. The Damage Inflicted by Ships with Bulbous Bows on Underwater Structures. Brysseli (Belgia): General Secretariat of PIANC.

PIANC 2002. Guidelines for the Design of Fenders Systems. Brysseli (Belgia): General Secretariat of PIANC.

Saarinen, J. 2008. Miljoonamöljä, Kotkan satama 1871 - 2008. Kotka: Kotkan Satama Oy.

RIL 123 Vesirakenteiden suunnittelu. Suomen rakennusinsinöörien liitto 1979. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto r.y.

RIL 144 Rakenteiden kuormitusohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto  
2002. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto r.y.

RIL 236 Satamalaitureiden kunnonhallinta. Suomen rakennusinsinöörien liitto  
2006. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto r.y.

The Geography of Transport Systems, Maritime Transportation. Saatavissa:  
<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/ch3c4en.html> (viitattu  
15.04.2010).

Tsinker, G. 1997. Handbook of Port and Harbor Engineering. New York (Yhdysvallat): Chapman & Hall.